

空间相干性的实验观测

林坤英 李文裕

(厦门大学物理系 361005)

摘 要 扼要说明了空间相干的意义及干涉条纹反衬度的表达式,介绍了一种多数物理实验室可实现的空间相干性定性观察和定量测量的方法。

关键词 空间相干性 干涉条纹 反衬度 观察 测量

1 引言

时间相干性及空间相干性是光波干涉的重要概念。迈克尔孙干涉仪是观测时间相干性的典型仪器,一般在迈克尔孙干涉仪实验中都进行了光源时间相干性的测量,而空间相干性的测量则在实验教材中尚无安排。本文以双缝干涉实验为基础,讨论空间相干性概念及其实验观测方法。

2 实验原理

图1为双缝干涉的实验装置示意图。其中 S 为单缝光源。从 S 缝光源上不同点发出的光是不相干光,但它们经过双缝 S_1 和 S_2 后,将在屏上分别产生一组干涉条纹,各组条纹的间距相同,但零级条纹的位置将不同。从单缝中心 O 点发出的光在屏上的零级条纹在 P_0 点,而其他发光点的零级条纹将相对 P_0 移过一段距离。显然,由于单缝 S 具有一定的宽度,各线光源将各自在屏上产生一组干涉条纹,这些条纹组既不重合也不相干,它们迭加的结果将使条纹模糊,甚至使条纹消失。空间相干性讨论的问题是光源大小对干涉条纹的影响。

现在定量求这些相互错开的干涉条纹组在屏上迭加后的合光强。离单缝中心 O 为 x 的 S_x 点发出的光波经双缝后,在屏上 P 点的光程差

$$\Delta_x = (S_x S_2 - S_x S_1) + (r_2 - r_1) \quad (1)$$

由图1知

$$S_x S_2 - S_x S_1 = \sqrt{R^2 + \left(\frac{t}{2} + x\right)^2}$$

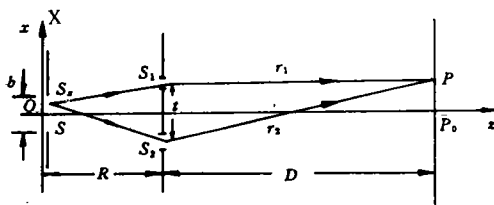


图 1

$$= \sqrt{R^2 + \left(\frac{t}{2} - x\right)^2}$$

$$\approx \frac{tx}{R}$$

$r_2 - r_1 = \Delta_0$ 为自单缝中心 O 发出的光波在 P 点的光程差,将上两式代入(1)式得: $\Delta_x = tx/R + \Delta_0$,对应的位相差

$$\delta_x = 2\pi \frac{\Delta_x}{\lambda} = 2\pi \frac{tx}{R\lambda} + \delta_0 \quad (2)$$

应用等振幅双光束干涉的光强分布公式,对宽度为 dx 的线光源,在 P 点的光强为

$$dI_P = 2I_1(1 + \cos\delta_x)dx$$

P 点的总光强应为

$$I = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} 2I_1(1 + \cos\delta_x)dx$$

$$= 2I_1 \left(b + \frac{\sin \frac{\pi t b}{R\lambda}}{\frac{\pi t}{R\lambda}} \cos\delta_0 \right)$$

上式中 δ_0 为单缝中心发出的光波经双缝后在 P 点的位相差,它随 P 点位置的不同而不同,因而屏上合成光强的最大值和最小值分别为

$$I_{\max} = 2I_1 \left[b + \left| \frac{\sin \frac{\pi tb}{R\lambda}}{\frac{\pi t}{R\lambda}} \right| \right]$$

$$I_{\min} = 2I_1 \left[b - \left| \frac{\sin \frac{\pi tb}{R\lambda}}{\frac{\pi t}{R\lambda}} \right| \right]$$

于是屏上干涉条纹的反衬度(可见度)

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \left| \frac{\sin \frac{\pi tb}{R\lambda}}{\frac{\pi tb}{R\lambda}} \right| \quad (3)$$

图2便是(3)式所表达的反衬度曲线.可见,屏

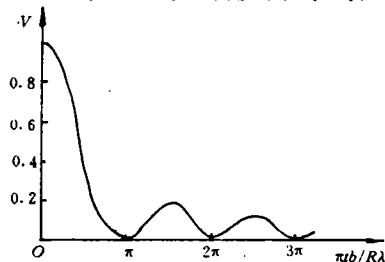


图 2

上条纹的反衬度与 D 的大小无关,而随单缝宽度 b 的增大而变化.条纹反衬度第一次为零时对应于 $(\pi tb)/(R\lambda) = \pi$, 即当 $b = (R\lambda)/t$ 时,第一次使 $V=0$,而超过此值时, V 将随 b 的增大而多次起伏,但其最大值不超过 $V=0.21$.

3 实验装置及观测

实验观测装置如图3所示.光源为钠光灯,宽度可改变的单缝 S 以小型摄谱仪的入射缝

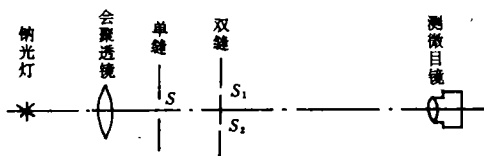


图 3

代替,其宽度 b 可由最小刻度为 0.005mm/div 的测微螺旋读出;双缝 S_1 、 S_2 可自己制作,每个缝的宽度约为 0.09mm ,双缝间距 t 取 0.3mm 左右为宜, t 的数值可用测量显微镜测

之;干涉条纹的反衬度用测微目镜观测.上述系统安排在光具座上,并进行等高共轴调节.

3.1 定性观察

实验时取某个固定的 b 值(如 $b \approx 0.7\text{mm}$),在 R 值较大(不小于 50cm)处调节光学系统,至出现尽可能清晰的干涉条纹.渐减 R ,通过测微目镜可看到条纹渐变模糊,直至消失.然后又出现相当模糊的条纹,继而再出现第二次干涉条纹消失.上述过程若用人眼直接观察效果也很好.

3.2 定量测量

改变 b ,移动双缝,使 R 约自 50cm 渐减,分别测不同 b 时第一次 $V=0$ 对应的 R 值.测得一组数据如下:

双缝 $t=0.326\text{mm}$, $\lambda=5.983 \times 10^{-4}\text{mm}$

单缝 S 的位置 280mm ,单缝与双缝间距校

正量 $e=15\text{mm}$

作 $b-R$ 图如图4,它是一条通过坐标原点

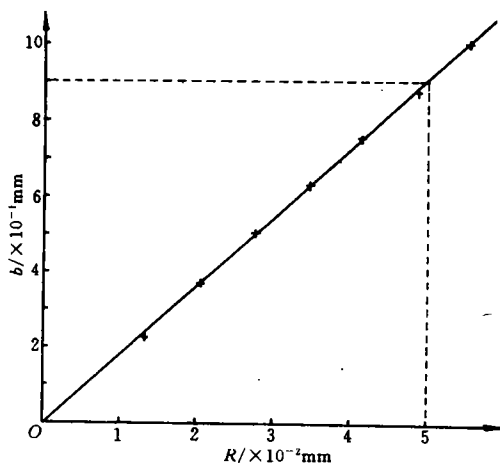


图 4

的直线,表明 $b \propto R$. 为验证 $b = (R\lambda)/t$ 的关系,该直线的斜率 b/R 应等于 λ/t . 由 $b-R$ 图得

$$b/R = 0.905/500 = 1.810 \times 10^{-3}$$

由实验已知条件得

$$\begin{aligned} \lambda/t &= (5.983 \times 10^{-4})/0.326 \\ &= 1.808 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

可见, $b/R \approx \lambda/t$, 相对误差

$$E = 0.02/1.81 = 1.1\%$$

(下转 14 页)

昆明地区的大气压强为: $P_0 = 610.0 \pm 0.5 \text{ mmHg} = 81326 \pm 67 \text{ Pa}$. 现以乙二醇 ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$) 为例, 测量数据如表 1 中所示.

用表 1 的数据作 $y = a + bx$ 一元线性回归法处理, 得如下结果 (拟合曲线如图 3 所示)

$$a = 18.10 \pm 0.28$$

$$b = -6071 \pm 106$$

相关系数 $r = 0.9987$, 参照式 (3) 得

$$-\frac{\lambda}{R} = b = -6071$$

则 $\lambda = 6071 \times R / 62 = 813 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

式中 62 为 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ 的摩尔质量.

$$\therefore \lambda = (813 \pm 14) \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

与乙二醇在沸点 197°C 时的汽化热 $802.70 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 相比较百分差为

$$E = \frac{813 - 802.70}{802.70} = 1.4\%$$

可见结果比较精确.

该实验比较直观, 物理思想明确, 实验过程和操作都比较简单, 是一种很好的低冰点液体汽化热测定的实验方法, 它适合许多低冰点无毒液体, 比如: 乙醇.

5 参考文献

- [1] 谢锐生, 关德相等译. 热力学原理. 人民教育出版社, 1981. 39.
- [2] 陆申龙等. 物理实验. 1997 (1): 21-22.
- [3] Perry RH, Chilton CH. Chemical Engineers Handbook. McGraw-Hill Kogakusha, Japan, 1973. 3-216. (1997-10-07 收稿)

(上接 11 页)

单位: mm

	b	0.2500	0.3750	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750	1.000
第一双缝的条纹位置消失	第一次测量	399	474	543	616	677	749	816
	第二次测量	401	471	542	612	683	753	818
	第三次测量	399	472	544	608	671	754	814
	平均	400	472	543	612	677	752	816
未校正的 R		120	192	263	332	397	472	536
校正后的 R		135	207	278	347	412	487	551

4 操作说明

(1) 观测干涉条纹消失前, 应调出尽可能清晰的干涉条纹, 为此应注意选用尽可能长的双缝 (长度不小于 1 cm), 并在 R 较大时细心调节单缝与双缝相互平行.

(2) 干涉条纹第一次反衬度 $V = 0$ (条纹消失) 的判别是本实验的关键. 实验中只要细心

观察, 认真比较, 所测得的值还是具有一定准确度. 测量数据表明, 在同一缝宽 b 时, 重复三次测量第一次条纹消失时双缝位置的数据还不会偏离太大.

5 参考文献

- [1] 赵凯华, 钟锡华. 光学 (上册). 北京大学出版社. (1997-11-05 收稿)